

Metodika hodnocení aplikace digestátu a biouhlem obohaceného digestátu na biologické a chemické půdní vlastnosti

metodická příručka



Oldřich Látal, Jiří Holátko, Hana Bilošová,
Tereza Hammerschmiedt, Antonín Kintl,
Ondřej Malíček, Martin Brtnický



Certifikovaná metodika

Metodika hodnocení aplikace digestátu a biouhlem obohaceného digestátu na biologické a chemické půdní vlastnosti

Oldřich Látal, Jiří Holátko, Hana Bilošová, Tereza Hammerschmiedt,
Antonín Kintl, Ondřej Malíček, Martin Brtnický

Uplatněná certifikovaná metodika byla vypracována v rámci projektů
Technologické agentury ČR – číslo TH04030132 a TH03030319.

Agrovýzkum Rapotín s.r.o.

2022

Autorský kolektiv

Ing. Oldřich Látal, Ph.D.^{1,2}

Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.^{1,2}

Mgr. Hana Bilošová, Ph.D.²

Ing. Tereza Hammerschmiedt¹

Ing. Antonín Kintl^{1,3}

Ing. Ondřej Malíček¹

Ing. Martin Brtnický¹

¹Mendelova univerzita v Brně

²Agrovýzkum Rapotín s.r.o.

³Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

Dedikace výsledků typu „N“

Uplatněná certifikovaná metodika vznikla za podpory TAČR v rámci projektů TH04030132 „Systémy aplikace tekutých organických hnojiv jako prostředek ke zlepšení půdního prostředí, zvýšení využitelnosti živin rostlinami a jako prostředek k minimalizaci dopadů na životní prostředí“ a TH03030319 „Podpora funkční diverzity půdních organismů aplikací klasických a modifikovaných stabilních organických hmot při zachování produkčních vlastností půd“.

Uplatněná certifikovaná metodika byla schválena dne 6. 12. 2022 Ministerstvem zemědělství – Osvědčení číslo MZE-67429/2022-13123.

Určení publikace

Metodika je určena zemědělskému managementu všeobecně, zejména však podnikům hospodařícím na orné půdě, ekologickým zemědělcům, akreditovaným poradcům v oblasti zemědělské výroby a ekonomiky, pracovníkům decizní sféry v působnosti Ministerstva zemědělství včetně Oddělení regionálních odborů a Státního zemědělského intervenčního fondu, profesním organizacím (Agrární komora ČR, Zemědělský svaz ČR, aj.), pracovníkům v zemědělském výzkumu, studentům středních a vysokých škol orientovaných na zemědělskou problematiku, pedologii a ochranu životního prostředí.

Oponovali

Mgr. Petra Hanáková Bečvářová, Ph.D.

Ing. Michaela Budňáková

© Agrovýzkum Rapotín s.r.o., 2022

ISBN 978-80-87592-37-3

Obsah

I	Cíl metodiky	5
II	Vlastní popis metodiky	6
II.1	Úvod	6
II.1.1	Digestát	6
II.1.2	Biouhel	7
II.1.3	Zaměření metodiky	9
II.2	Charakteristika lokality, varianty pokusu a hnojení	10
II.2.1	Charakteristika lokality a zemědělského podniku	10
II.2.2	Varianty pokusu	11
II.2.3	Specifikace biouhlu, digestátu, stanovení jejich dávky, aktivace a aplikace	12
II.3	Metodika chemicko-biologických analýz půd a stanovení výnosu	13
II.3.1	Odběr a příprava půdních vzorků	13
II.3.2	Chemické půdní analýzy	13
II.3.3	Biologické půdní parametry	14
II.3.4	Stanovení výnosu plodin a jeho hodnocení	14
II.3.5	Hodnocené parametry chemické analýzy a kvality jednotlivých plodin	14
II.4	Hodnocení vybraných půdních parametrů na konci sledovaného období	15
II.5	Hodnocení produkce biomasy a sklizně v letech 2019–2021	17
II.5.1	Výsledky hodnocení silážní kukuřice v roce 2019	17
II.5.2	Výsledky hodnocení pšenice ozimé v roce 2020	19
II.5.3	Výsledky hodnocení řepky ozimé v roce 2021	21
III	Srovnání „novosti postupů“	23
IV	Popis uplatnění metodiky, informace pro koho je určena a jakým způsobem bude uplatněna	24
V	Ekonomické aspekty	25
VI	Seznam použité související literatury	28
VII	Seznam publikací, které předcházely metodice a byly publikovány	32

Abstrakt

Digestát je bohatý na živiny a také na půdě prospěšná společenstva mikroorganismů, která jsou díky vysoké koncentraci živin v dobré kondici, a tak mohou po vpravení do půdy oživit její mikrobiální aktivitu. Stále se zvyšující cena zemědělských vstupů a průmyslových hnojiv nutí zemědělce k zamyšlení, jak zlepšit hospodaření s vedlejšími produkty poľního hospodářství. Např. možná kombinace digestátu s biouhlem představuje efektivní využití zpracování vedlejších produktů. Navíc společné zrání příznivě ovlivňuje dynamiku biologické dostupnosti živin v matici digestát-biouhel pro příjem živin rostlinami i půdními mikroorganismy.

Předložená metodika prezentuje souhrn výsledků nově ověřených technologických postupů ve vybraném zemědělském podniku, které prokazatelně přispějí ke zvýšení konkurenceschopnosti v zemědělské prvovýrobě vzhledem k dlouhodobému zvýšení hektarových výnosů ve vztahu ke kontrole u produkce sušiny silážní kukuřice o 3,14–6,71 %, pšenice ozimé o 3,44–9,91 % a řepky ozimé o 10,68–14,90 % i ke zlepšení kvalitativních parametrů plodin a dále ke zlepšení hospodaření s organickou hmotou, popř. možné úspore průmyslových hnojiv.

Abstract

Digestate is rich in nutrients and also in soil-beneficial communities of microorganisms, which are in good condition due to the high concentration of nutrients and can thus boost the microbial activity of the soil when incorporated. The increasing price of agricultural inputs and fertilisers is forcing farmers to consider how to improve the management of field by-products. For example, the possible combination of digestate with biochar represents an efficient use of by-product processing. In addition, co-digestion favourably influences the dynamics of nutrient bioavailability in the digestate- biochar matrix for nutrient uptake by plants and soil microorganisms.

The presented methodology presents a summary of the results of newly verified technological procedures in the real farm, which will demonstrably contribute to the increase of competitiveness in agricultural primary production due to the long-term increase in hectare yields in relation to the control in the production of dry matter of maize silage by 3.14–6.71 %, winter wheat by 3.44–9.91 % and winter rape by 10.68–14.90 %, as well as to the improvement of quality parameters of crops and further to the improvement of organic matter management, respectively possible savings in industrial fertilisers.

KAPITOLA I

Cíl metodiky

Cílem metodiky je všem zájemcům o danou problematiku poskytnout informace, jak aplikací digestátu a biouhlem obohaceného digestátu zlepšit chemicko-biologické parametry orné půdy a tím zachovat či dokonce zvýšit její produkční potenciál.

V letech 2018–2021 byly realizovány poloprovozní pokusy, ve kterých byl hodnocen vliv aplikace digestátu, digestátu s biouhlem a biouhlem obohaceného digestátu na vybrané půdní parametry, výnos jednotlivých plodin a ekonomiku jejich produkce. Přímým efektem aplikace těchto látek je zlepšení výnosu a v dlouhodobějším časovém horizontu i zlepšení zdraví a kvality půd díky vyšší efektivitě při tvorbě půdní organické hmoty s dopadem na diverzitu půdních organismů.

KAPITOLA II

Vlastní popis metodiky

II.1 Úvod

V současné době je snaha o co nejefektivnější a environmentálně přívětivé hospodaření na půdě. Půdoochranné technologie, které se stávají standardním zemědělským postupem, by měly v zemědělství zabránit vzniku negativních procesů, jako je eroze, ztráta organické hmoty či vysušení půdy. Cílem zemědělců je dosáhnout vyhovujícího výnosu v kombinaci se zachováním úrodnosti půdy v její optimální kvalitě. Existuje množství nástrojů, jak tohoto cíle dosáhnout.

Jedním z možných nástrojů pro trvale udržitelné hospodaření je aplikace digestátu a biouhlu, které představují vhodný prostředek ke sladění mimoprodukčních a produkčních funkcí půd s důrazem na zachování a podporu organické hmoty v půdě. Úprava půdy pomocí organických hnojiv a pomocných látek je běžnou praxí vedoucí ke zlepšení půdní úrodnosti a celkového stavu půdního prostředí. V současné době se k těmto účelům využívá digestát či biouhel, které svým charakterem a účinkem ovlivňují nejen půdní úrodnost, ale také mohou zabráňovat degradačním procesům v půdě (Ferreras *et al.*, 2006; Thiele-Bruhn *et al.*, 2012).

II.1.1 Digestát

V posledních letech se s rozvojem bioplynových stanic v zemědělských podnicích dostává do popředí problematika zacházení se zbytky po anaerobní digestaci, tedy digestáty. Pokud je takovýto digestát správně aplikován, představuje vzhledem k dobré zásobě živin potenciálně vhodné hnojivo. V některých případech je digestát mechanicky separován a vzniká tak pevná část (separát) a kapalná část (fugát). Správná aplikace digestátu, respektive jeho separovaných složek, separátu (ve formě kompostů, hnojiv, pelet apod.) a fugátu (aplikace na posklizňové zbytky, zkrápění kompostů apod.), má na půdu výrazně pozitivní vliv (Holubík, 2020). Celkově lze digestát charakterizovat jako hnojivo s rychle dostupnými makroživinami (N, P, K) a mikroživinami, které výrazným způsobem ovlivňují

výnosy plodin. Lze jej označit jako alternativu za minerální hnojiva. Digestát obsahuje velké množství minerálního dusíku, především amonné formy (N-NH_4), která je přístupná pro rostliny, ale také značné množství makro i mikroelementů, které jsou nezbytné pro růst rostlin. Digestát obsahuje vyšší množství K a P, což je výhodné z pohledu dodání těchto deficitních prvků zpět do půdy. Navíc, většina množství P se vyskytuje ve formě přijatelné pro rostliny (Börjesson a Berglund, 2007), což jen podporuje aplikaci digestátu do půd s nízkým obsahem P. Neméně významné je také dodání organické hmoty do půdy, která se oproti tradičním organickým hnojivům vyskytuje ve stabilizované formě (Duffková a Muhlbachová, 2016). Vliv digestátu na organickou hmotu a biologickou aktivitu je převážně pozitivní a podporuje tak rozvoj a činnost mikroorganismů. Makádi *et al.* (2016) uvádí, že po aplikaci digestátu došlo ke zvýšení obsahu organické hmoty a mikrobiální aktivity v porovnání s minerálním hnojivem. Ovšem rizikem při nesprávné aplikaci digestátu je únik živin do okolního prostředí v podobě vyplavování do povrchových i podzemních vod či únik v podobě plyných emisí.

II.1.2 Biouhel

V poslední době je hojně používaným půdním aditivem biouhel. Jedná se o pyrolýzou upravený organický materiál využívaný k zúrodnění půdy a také k sekvestraci uhlíku (Lehmann *et al.*, 2006). Biouhel se využívá ke zlepšení půdní struktury (Lehmann a Joseph, 2015), dosažení vyššího výnosu a celkové produktivity plodin (Biederman a Harpole, 2013). Aplikace biouhlu může zlepšit biologické (Lehmann *et al.*, 2011), fyzikální (Laird *et al.*, 2010) i chemické (Lehmann *et al.*, 2006) vlastnosti půdy. Biouhel stimuluje mikrobiální aktivitu zejména v půdách s nízkou úrodností.

Mezi organickými pomocnými látkami má biouhel jedinečné vlastnosti, jako je vysoká pórovitost, nízká hustota, vysoký obsah uhlíku a schopnost zadržovat další uhlík (Sohi *et al.*, 2010). Biouhel je proto ideálním doplňkem pro zlepšení klíčových vlastností degradovaných půd, protože může poskytnout signifikantní výhody v krátkém časovém úseku a při relativně malé míře aplikace (Ma *et al.*, 2016).

Obecně uznávaným faktem je, že zapravením biouhlu do půdy dochází k ovlivnění půdních vlastností s výsledkem zvýšením dostupnosti živin pro růst rostlin. Biouhel sám o sobě obsahuje živiny, které se vyskytovaly v biomase před

pyrolýzou, tzn. ve vstupní biomase. Dále dokáže vytvářet s minerály komplexy, které se svou strukturou podobají humusu a zásadní význam má také v dodání organické hmoty do půdy. Zajímavých výsledků bylo dosaženo u půd kyselých, u kterých po přidání biouhlu došlo ke zvýšení půdního pH (Wang *et al.*, 2019). Úpravou pH dochází k následným efektům v podobě zvyšování přístupného fosfátu rostlinám, který byl dříve vázaný a nedostupný pro rostliny. Dále má změna pH vliv na příjem dalších makroživin jako je vápník a hořčík (Wang *et al.*, 2019). Biouhel obsahuje relativně velké množství dusíku, ale tento dusík je heterocyklický a jen malá část se může přímo uvolňovat do půd, na druhou stranu dokáže zabránit vyplavování a ztrátám dusíku z půdy. Půdní vlastnosti jsou ovlivněny jak z pohledu přítomnosti živin, ale také zvýšením výměnné kapacity iontů (Liang *et al.*, 2006), sorpci těžkých kovů (Freddo *et al.*, 2012), imobilizaci toxických sloučenin v půdě (Ogbonnaya a Semple, 2013).

Jak uvádí Lehmann *et al.* (2006), přeměna uhlíku biomasy na uhlík biouhlu vede k sekvestraci asi 50 % původního uhlíku ve srovnání s nízkým množstvím zadržení po spalení (5 %) či biologickým rozkladem (až 20 %). Účinnost přeměny biomasy uhlíku na biouhel je vysoce závislá na zdroji suroviny, ale již méně je ovlivněna teplotou pyrolýzy. Biouhel by z tohoto pohledu měl být vždy produkován s vlastnostmi potřebnými pro specifické aplikace a využití. Wang *et al.* (2016) došli k závěru, že biouhel může v půdách setrvat delší dobu a má tak pozitivní vliv na dynamiku organické hmoty v půdě. Biouhel s vyšším poměrem C/N je považován za vhodný nástroj k sekvestraci uhlíku a zmírnění emise skleníkových plynů pocházejících z půd (Cayela *et al.*, 2014). Na druhou stranu se objevují studie (DeLuca *et al.*, 2015), které upozorňují na možnou imobilizaci půdního dusíku právě při vyšším poměru C/N, což může vést k ovlivnění produkce a snížení celkového výnosu plodin. Brassard *et al.* (2016) poukázali na typ biouhlu s nižším obsahem N a s vyšším podílem C/N (>30), který byl shledán jako vhodnější z pohledu zmírnění N₂O emisí z půdy.

Biouhel sám o sobě nemá charakter hnojiva, ale obsahuje živiny, jako je vápník, draslík a hořčík (Singh *et al.*, 2010). Tyto živiny jsou často omezující ve velmi chudých půdách, což může vysvětlit silný účinek přidání biouhlu na výnosy v těchto půdách brzy po aplikaci. Jak zdůrazňuje Rehman *et al.* (2020), biouhel má zvláštní význam, protože hraje roli při zlepšování kvality půdy a růstu plodin, zatímco sekvestruje uhlík v půdě a poskytuje další přínosy pro životní prostředí.

V mnoha studiích byl pozorován zlepšený výnos plodin při použití biouhlu ve srovnání s kontrolami, kde biouhel nebyl aplikován (Arif *et al.*, 2017).

Aplikace biouhlu má také vliv na půdní mikroorganismy, především na půdní bakterie fixující N_2 . S rostoucí aplikační dávkou biouhlu je tak spojen nárůst biologické fixace dusíku (Thies *et al.*, 2015). Biouhel je charakteristický jako pórézní materiál, jehož póry mohou sloužit jako stanoviště pro mikrobiální růst. Mikrobiální růst a aktivita je dána nejen pórovitostí biouhlu, ale také jeho povrchovým nábojem, který váže mikrobiální buňky, chemické sloučeniny a ionty (Muhammad Irfan *et al.*, 2017). Biouhel podporuje strukturu mikrobiálního společenstva půd (Gul *et al.*, 2015), jejíž dynamika se mění v závislosti na dodaném biouhlu a půdních podmínkách. Vliv biouhlu na strukturu mikrobiálního společenstva je podobný změnám po dodání rostlinných zbytků do půdy, neboť oba způsobují změny ve struktuře mikrobiálního společenstva změnou poměru C:N u snadno metabolizovatelných substrátů v půdě.

Význam kombinace biouhlu s různými typy organických hnojiv popsali Prost *et al.* (2013). Ve své studii se zaměřili na možnosti zvyšování množství živin po aplikaci biouhlu v kombinaci s hnojem. Testovali, do jaké míry kompostování pomocí statkových hnojiv zvyšuje kationovou výměnnou kapacitu a obsah živin v biouhlu. Jejich výzkum potvrzuje hypotézu, že interakce biouhlu s kompostovanými substráty může výrazně ovlivnit jejich vlastnosti.

II.1.3 Zaměření metodiky

Metodika doporučuje pro zemědělskou praxi ověřené výsledky aplikace digestátu obohaceného biouhlem a jejich porovnání vůči aplikaci standardního digestátu.

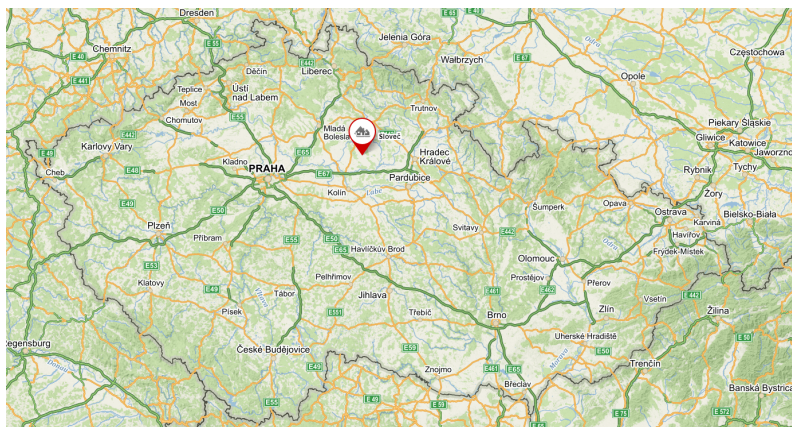
Ověřování bylo provedeno v reálných podmínkách zemědělského podniku, kde byl v roce 2018 založen poloprovozní polní pokus. V rámci ověřování daného managementu hospodaření byl dále hodnocen dopad do výroby, kvality a ekonomiky zemědělských plodin při posouzení zachování produkčních vlastností půd. Obohacení digestátu biouhlem a jejich společné zrání příznivě ovlivňuje dynamiku biologické dostupnosti živin v matici digestát-biouhel pro příjem živin rostlinami i půdními mikroorganismy. Aplikace takovýchto látek zvyšuje z pohledu dlouhodobého časového horizontu přísun organické hmoty do půdy

a tím zachovává její vysoký úrodnostní potenciál a funkční diverzitu půdních organismů.

II.2 Charakteristika lokality, varianty pokusu a hnojení

II.2.1 Charakteristika lokality a zemědělského podniku

Poloprovozní pokus probíhal od podzimu 2018 v blízkosti obce Sloveč (GPS 50°14'09.3"N 15°19'26.7"E, Obr. 1), průměrná nadmořská výška 212 m n. m., průměrná roční teplota 9,4 °C a průměrný roční úhrn srážek na úrovni 550–600 mm. V této lokalitě se nachází převážně těžká černozem. Obsah částic <0,002 mm je 48 % hmotnostních (hloubka 0–30 cm) a podle USDA třídění struktury půdy jde o jíl.



Obr. 1 Poloha pokusné lokality v rámci ČR (zdroj: www.mapy.cz)

Podnik se nachází ve Středočeském kraji, ve výrobní oblasti řepařské. V současnosti obhospodařuje celkem 2 998,63 ha zemědělské půdy. Z celkové výměry připadá 2 941,42 ha na ornou půdu, 35,15 ha na úhor a 22,06 ha na trvalé travní porosty (TTP). V rámci rostlinné výroby podnik pěstuje plodiny jak tržní, tak pro zabezpečení krmné základny: pšenice ozimá, pšenice jarní, ječmen ozimý, ječmen jarní, řepka ozimá, řepa cukrovka, silážní kukuřice, sója, mák, len setý a víceleté

pícniny na orné půdě. V rámci živočišné výroby je podnik specializován na chov dojného skotu. Chová průměrně 747 dojnic plemene holštýnský skot a jeho 75–100 % křížence s celkovým průměrným počtem 1 388 dobytčích jednotek (DJ). Průměrná roční spotřeba statkových hnojiv je na úrovni 10 600 tun a organických hnojiv na úrovni 3 674 tun.

II.2.2 Varianty pokusu

Vybraný pozemek byl rozdělen dle pracovního záběru stroje do jednotlivých poloprovozních variant o velikosti cca 0,6 ha (Tab. 1). Aplikace digestátu, biouhlu a dodatkové hnojení byla provedena v souladu s osevním plánem. Každá varianta byla dále rovnoměrně rozdělena na 3 díly, ze kterých byly odebrány samostatné souhrnné vzorky, které byly v konečné fázi homogenizovány s využitím tzv. „kvartace“ a průměrovány za danou variantu. Pozemek byl obhospodařován standardními agrotechnickými postupy v místě obvyklými. Osevní postup a normativ živin pro jednotlivé monitorované plodiny v letech 2019–2021 je uveden v Tab. 2.

Tab. 1 Jednotlivé varianty pokusu a aplikace

Varianta a aplikace			APLIKACE t/ha		
			2018	2019	2020
1	Kontrola (pouze NPK)	K	-	-	-
2	Digestát	D	40	40	40
3	Digestát + biouhel	D+B	40+2	40+0	40+0
4	Biouhlem obohacený digestát	BOD	40+2	40+0	40+0

Tab. 2 Osevní postup a normativ živin (dle plodin) v letech 2019–2021

Rok	Plodina	Normativ živin k dané plodině
2019	Silážní kukuřice FAO 250 (hybrid RGT EXXOTIKA)	N ₁₈₅ P ₃₀ K ₁₉₀
2020	Pšenice ozimá (odrůda DAGMAR)	N ₁₈₀ P ₃₅ K ₉₅
2021	Řepka ozimá (odrůda TREZZOR)	N ₁₇₀ P ₃₅ K ₁₇₅

II.2.3 Specifikace biouhlu, digestátu, stanovení jejich dávky, aktivace a aplikace

Digestát pocházel z nedaleké bioplynové stanice zpracovávající zemědělské odpady (zbytkové siláže a senáže, prasečí kejda) a odpady ze zpracovatelského průmyslu (z výroby methylesteru řepkového oleje), kuchyňské odpady a rostlinný materiál. Průměrné složení digestátu: sušina (6,0 %) a dále v sušině: celkový organický uhlík (48,5 %), celkový dusík (4,21 %), pH (8,7), K₂O (1,49 %), P₂O₅ (0,90 %). Čistý digestát byl aplikován s využitím cisternového aplikátoru tekutých hnojiv.

Biouhel vyrobený z rostlinné biomasy a dřevního odpadu firmou Sonnenerde GmbH (Rakousko) je registrovanou pomocnou půdní látkou. Složení: sušina (60 %) a dále v sušině: celkový organický uhlík (73,8 %), celkový dusík (1,32 %), pH (10,2), CaO (0,81 %), MgO (0,87 %), K₂O (2,44 %), P₂O₅ (1,39 %).

Digestát koaplikovaný s biouhlem bez zrání, byl vyroben přímo před aplikací na pole, biouhel byl rovnoměrně rozmíchán v jímce a poté přečerpán přímo do nádrže cisternového aplikátoru tekutých hnojiv.

Biouhlem obohacený digestát byl vyroben rozmícháním předepsané dávky biouhlu (Tab. 1) v jímce s digestátem s využitím kalového čerpadla. Společné zrání v jímce (Obr. 2) probíhalo alespoň po dobu 2 měsíců. Výsledná směs byla aplikována s využitím cisternového aplikátoru tekutých hnojiv.

Dávky čistých živin N, P, K a aplikace digestátu byly stanoveny dle normativů na předpokládaný výnos (Tab. 2) a u testovaných variant byly doplněny stejnou úrovní přihnojením minerálními hnojivy během vegetace. První aplikace digestátu s přidavkem biouhlu dle Tab. 1 byla provedena v říjnu 2018. V dalších letech byl aplikován pouze čistý digestát bez přidavku biouhlu (viz Tab. 1).

V letech 2019–2021 byly pozemky obhospodařovány v souladu s agrotechnickými postupy v místě obvyklými.



Obr. 2 Pohled na zrání digestátu obohaceného biouhlem (odkryto)

II.3 Metodika chemicko-biologických analýz půd a stanovení výnosu

II.3.1 Odběr a příprava půdních vzorků

Na konci sledovaného období byly po sklizni odebrány půdní vzorky z hloubky 0–15 cm. Jednalo se o tři souhrnné porušené vzorky z každé varianty, z nichž se každý skládal z osmi jednotlivých dílčích vzorků. Každý souhrnný vzorek byl homogenizován, zbaven rostlinných a živočišných zbytků a proset sítím o velikosti ok 2 mm na tzv. jemnozem. Každý vzorek byl rozdělen na 3 části. Část vzorku využitá pro stanovení půdní respirace byla uchována při 4 °C. Část vzorku určená pro stanovení enzymatických aktivit byla lyofilizována. A část vzorku pro chemické půdní analýzy byla vysušena na vzduchu.

II.3.2 Chemické půdní analýzy

Obsah celkového C a S byl stanoven spalováním při vysoké teplotě pomocí přístroje Vario Macro Cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Langenselbold, Německo).

II.3.3 Biologické půdní parametry

Půdní bazální respirace (BR) je indikátorem kompletní katabolické metabolické aktivity půdy. BR byla měřena bez přidavku substrátu (zdroje energie), substrátem indukovaná respirace (SIR) byla měřena přidáním specifického zdroje energie, L-alaninu či D-mannosu. K měření respirací bylo využito zařízení Micro-Resp dle původní metodiky (Campbell *et al.*, 2003).

Aktivity enzymů ureasy (Ure) a N-acetyl- β -D-glukosaminidasy (NAG), slouží k charakterizaci procesů dekompozice zdrojů dusíku v půdě a byly stanoveny podle normy (ISO 20130 2018).

II.3.4 Stanovení výnosu plodin a jeho hodnocení

Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standardní samojízdné sklízecí mlátičky (pšenice ozimá a řepka ozimá) a sklízecí řezačky (kukuřice na siláž). Každá varianta byla sklizena celá na traktorový přívěs, který byl neprodleně zvážen na mobilní nápravové váze o váživosti 0–15 t (přesnost ± 1 kg) a dále byl vyhodnocen výnos (t/ha) za celou variantu.

Z jednotlivých variant byly odebrány čtyři dílčí vzorky, každý o hmotnosti cca 1 kg, u pšenice a řepky sondýrkou, u řezanky kukuřice jako reprezentativní vzorek z vlečky. Tyto vzorky byly v laboratoři následně homogenizovány tzv. „kvartací“ na laboratorní vzorek určený k dalším analýzám.

II.3.5 Hodnocené parametry chemické analýzy a kvality jednotlivých plodin

Ve sklizených vzorcích biomasy a řezanky silážní kukuřice, zrna pšenice ozimé a zrna řepky ozimé byly stanoveny N-látky přepočtem z celkového N dle Kjeldahla (ICC č. 167) vynásobeného koeficientem 6,25 (silážní kukuřice) a 5,75 (pšenice a řepka); K, Ca, Mg optickými metodami AAS v plamenové analýze a P byl stanoven molekulární absorpční spektrometrií.

V řezance silážní kukuřice byly v souladu s Nařízením Komise (ES) č. 152/2009 a metodiky chemických rozborů podle Novotného (2006) dále hodnoceny: vláknina, ADF a NDF na přístroji Foss Tecator Fibertec Systém 2022 Fiber Cap; tuk byl stanoven extrakčně na přístroji Soxtec.

V zrně pšenice ozimé byla dále hodnocena: vlhkost (ČSN EN ISO 712); sedimentační index – Zeleného test (ČSN EN ISO 5529); číslo poklesu (ČSN EN ISO 3093); obsah příměsí a nečistot (ČSN 46 1011-6); objemová hmotnost; hmotnost 1 000 semen (ČSN ISO 7971-2).

V zrně řepky ozimé byla dále hodnocena: vlhkost (ČSN EN ISO 665); tuk (ČSN EN ISO 659) a síra gravimetricky.

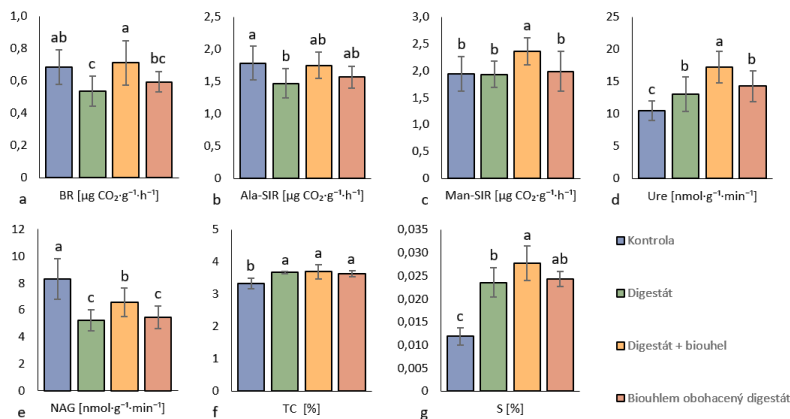
II.4 Hodnocení vybraných půdních parametrů na konci sledovaného období

Bazální respirace (BR) je jedním z ukazatelů aktivity půdní mikroflóry. V porovnání s kontrolou vedla aplikace digestátu k signifikantně snížené BR, zatímco smísení digestátu s biouhlem (D+B a BOD) nezpůsobilo signifikantní pokles BR, dokonce byla průměrná hodnota u varianty D+B mírně vyšší (Obr. 3a). Tento výsledek je ve shodě se studií (Greenberg *et al.*, 2019), která prokázala pozitivní vliv koaplikace digestátu a biouhlu na mineralizaci půdního organického uhlíku v porovnání se samotným digestátem.

Ukazateli funkční diversity mikrobiálního společenstva v půdě jsou respirace indukované substráty, které určují vitalitu mikroorganismů vykazujících danou metabolickou aktivitu. Respirace indukovaná L-alaninem (Ala-SIR) je především indikátorem mineralizace dusíku. Ve srovnání s kontrolou byla Ala-SIR signifikantně snížena v půdě ošetřené pouze digestátem (D), zatímco smísení digestátu s biouhlem (D+B a BOD) nevedla k poklesu respirace (Obr. 3b). Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že koaplikace digestátu a biouhlu vedla ke zvýšené nitrifikaci vlivem specifického pomnožení nitrifikačních mikroorganismů jako ve studii (Martin *et al.*, 2015).

Respirace indukovaná D-mannosou (Man-SIR) je indikátorem činnosti mikroorganismů zapojených do dekompozice hemicelulóz (obsahujících mannosové jednotky). Man-SIR byla signifikantně zvýšena oproti ostatním variantám pouze ve variantě D+B (Obr. 3c), tzn. že koaplikace digestátu s biouhlem vedla k pomnožení mikroorganismů rozkládajících hemicelulosy rostlinné odpadní biomasy v půdě. Tento efekt aplikace digestátu byl pravděpodobně podmíněn významným obsahem lignocelulosoových zbytků v digestátech získaných anae-

robní fermentací rostlinného materiálu, jaký dokládá např. studie (Fornito *et al.*, 2020).



Obr. 3 Sledované půdní parametry: a) bazální respirace, b) L-alaninem indukovaná respirace, c) D-mannosou indukovaná respirace, d) aktivita ureasy, e) aktivita N-acetyl- β -D-glukosaminidasy, f) celkový uhlík, g) síra; statisticky signifikantní rozdíly hodnot na hladině $p \leq 0,05$.

Dalším z indikátorů nitrifikace v půdě ošetřené digestátem je ureasová aktivita (Ure), katalyzující deaminaci organických nitrosloučenin. v porovnání s kontrolou byly zjištěny signifikantně zvýšené hodnoty Ure ve variantách D a BOD, které byly srovnatelně aktivní (Obr. 3d), avšak signifikantně nejvyšší Ure byla v půdě s koaplikovaným digestátem a biouhlem (D+ B). Zvýšenou ureasovou aktivitou dokumentovaný vyšší obsah nitrifikujících mikroorganismů v půdě s D+B byl ve shodě s našimi předchozími výsledky učiněnými v nádobovém experimentu (Hammerschmiedt *et al.*, 2021).

Ukazatelem nitrifikace a dekompozice fungální biomasy v půdě byla také aktivita N-acetyl- β -D-glukosaminidasy (NAG), jejímž substrátem je degradační produkt chitinu. V porovnání s kontrolou byla NAG signifikantně snížena ve všech digestátem ošetřených variantách, pravděpodobně kvůli specifickému pomnožení bakterií v porovnání s houbami. Avšak v porovnání s D a BOD byl zjištěn signifikantně nejnižší pokles mikrobiální s potenciálem degradace houbové biomasy opět ve variantě D+B. Vzhledem k výsledkům studie (Zhang *et al.*, 2021), dokládající preferenční namnožení bakterií před houbami účinkem digestátu

v půdě, naše výsledky naznačují možnost zvýšeného poměru hub ku bakteriím vlivem koaplikace digestátu a biouhlu.

Různé složení půdního mikrobiálního společenstva pravděpodobně ovlivnilo i celkový obsah živin v půdě. V porovnání s kontrolou byl celkový půdní uhlík (TC) signifikantně zvýšen u všech digestátem ošetřených variant (Obr. 3f). Stejně jako u stanovených výsledků ureasy, i vliv testovaných typů digestátů na TC byl ve shodě s našimi předchozími výsledky učiněnými v nádobovém experimentu (Holatko *et al.*, 2021).

Celkový obsah síry (S) je nepřímým indikátorem obsahu mikroorganismů mineralizace síry, jejichž obsah podmiňuje transformaci v sírany. Signifikantně nejvyšší obsah S byl zjištěn ve variantě D+B (Obr. 3g). Obsah síry v půdě je významně ovlivněn kvantitou síru oxidujících mikroorganismů, které na rozdíl od redukujících transformují síru do nevolatilní formy síranů. Naše předchozí výsledky z nádobového pokusu v principu připouštějí pozitivní vliv biouhlu kombinovaného s digestátem s významným obsahem síry na její mineralizaci (Hammerschmiedt *et al.*, 2021). Z toho usuzujeme, že modifikovaný digestát může mít prospěšný vliv na mikrobiální funkční frakci oxidující organickou síru.

II.5 Hodnocení produkce biomasy a sklizně v letech 2019–2021

II.5.1 Výsledky hodnocení silážní kukuřice v roce 2019

Aplikace digestátu a biouhlu byla provedena v říjnu 2018, celoplošné přihnojení NPK hnojivy bylo provedeno na jaře 2019. Setí silážní kukuřice hybridu RGT EXXOTIKA (FAO 250) bylo provedeno dne 9. 4. 2019. Sklizeň porostu standardní řezačkou se uskutečnila dne 13. 9. 2019 (Obr. 4).

V průběhu roku 2019 byly hodnoceny růstové fáze silážní kukuřice dle stupnice Webera a Bleiholdera (1990) průměrnou analýzou a odběrem 3×50 rostlin z varianty následovně:

- hodnocení ve stadiu 15 [hlavní růstová fáze 1 – vývoje listů] dne 1. 6. 2019;
- hodnocení ve stadiu 63 [hlavní růstová fáze 6 – kvetení] dne 23. 7. 2019;

- hodnocení ve stadiu 85 [hlavní růstová fáze 8 – vosková (silážní) zralost]
dne 13. 9. 2019.

Tab. 3 Hodnocení I. a II. růstového stádia silážní kukuřice na lokalitě

Varianta		Výška rostlin I. hodnocení	N	P	K	Výška rostlin II. hodnocení	N	P	K
		cm	g/kg sušiny			cm	g/kg sušiny		
1	K	41,34	40,58	3,23	42,39	188,28	17,43	2,27	29,76
2	D	48,98	39,66	3,02	37,89	203,64	18,84	2,11	26,45
3	D+B	42,59	39,60	3,15	39,11	210,65	17,34	2,22	27,56
4	BOD	52,73	39,21	3,13	37,27	198,65	18,43	2,19	26,04



Obr. 4 Sklizeň silážní kukuřice dne 13. 9. 2019

Tab. 4 Hodnocení výnosu silážní kukuřice a jeho kvality na lokalitě

Varianta	Výnos sušiny	N-látky	Tuk	Vláknina	ADF	NDF	
	t/ha	g/kg sušiny					
1	K	12,08	79,69	26,20	169,08	260,34	533,59
2	D	12,83	85,57	26,93	184,73	259,32	467,51
3	D+B	12,46	86,89	25,57	174,82	230,69	483,68
4	BOD	12,89	91,55	27,79	153,26	216,52	433,52

V roce 2019 byl oproti kontrole (12,08 t/ha) nejvyšší rozdíl výnosu sušiny silážní kukuřice u varianty BOD (+0,81 t/ha), naopak nejnižší byl u varianty D+B (+0,38 t/ha). Nejvyšší koncentrace N-látek byla u variant BOD (91,55 g) a D+B (86,89 g). U kontroly byla na úrovni 79,89 g.

II.5.2 Výsledky hodnocení pšenice ozimé v roce 2020

Hnojení digestátem a zásobními živinami proběhlo před setím v říjnu 2019. Setí pšenice ozimé odrůdy DAGMAR o výsevu 140 kg/ha bylo provedeno dne 18. 10. 2019. Celoplošné přihnojení třemi dávkami průmyslových hnojiv bylo provedeno v měsících březen až květen 2020. Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standartní samojízdné sklízecí mlátičky dne 30. 7. 2020 (Obr. 5).

Tab. 5 Hodnocení BBCH 21 (I.) a BBCH 61 (II.) růstového stádia pšenice ozimé na lokalitě

Varianta	Výška rostlin I. hodnocení				Výška rostlin II. hodnocení			
	N	P	K	N	P	K		
	cm	g/kg sušiny			cm	g/kg sušiny		
1 K	10,30	36,70	3,50	32,50	72,70	17,50	2,50	15,20
2 D	10,00	42,30	3,40	32,50	91,70	16,00	1,60	15,80
3 D+B	11,30	41,20	3,20	32,40	93,70	17,50	2,00	13,10
4 BOD	10,30	36,90	3,00	29,30	96,30	18,50	2,30	16,00

V průběhu roku 2020 byla hodnocena analýza tří růstových stádií pšenice ozimé dle Baiera, Smetánkové a Baierové (1988) při průměrné analýze a odběru 3×100 rostlin z varianty:

- hodnocení ve stádiu BBCH 21 [prvá odnož viditelná: počátek odnožování] dne 30. 3. 2020;
- hodnocení ve stádiu BBCH 61 [počátek květu: prvé prašníky viditelné] dne 22. 6. 2020;
- hodnocení ve stádiu BBCH 89 [mrtvá zralost; zrno nelze nehtem stisknout ani zlomit] dne 30. 7. 2020.



Obr. 5 Pohled z dronu na hodnocenou plochu pšenice ozimé a její sklizeň dne 30. 7. 2020

Tab. 6 Hodnocení výnosu pšenice ozimé a jeho kvality na lokalitě

Varianta		Výnos	N-látky	P	K	Ca	Mg	HTZ	NEČ	FN	SEDI	OH
		t/ha	g/kg sušiny					g	%	s	ml	kg/hl
1	K	7,26	126,10	2,94	3,10	0,36	1,07	42,90	1,26	334,00	41,00	81,70
2	D	7,56	126,10	2,87	3,08	0,33	1,01	44,40	2,70	316,00	45,00	81,50
3	D+B	7,51	125,70	3,01	3,09	0,35	1,03	45,00	2,07	345,00	45,00	82,00
4	BOD	7,98	126,10	3,12	3,36	0,46	1,13	43,90	2,14	317,00	44,00	81,70

Pozn.: HTZ (hmotnost tisíce zrn), NEČ (nečistoty), FN (číslo poklesu), sedimentace (SEDI) a objemová hmotnost (OH)

V roce 2020 byl oproti kontrole (7,26 t/ha) nejvyšší rozdíl výnosu pšenice ozimé opět u varianty BOD (+0,72 t/ha), naopak nejnižší byl u variant D+B (+0,25 t/ha) a D (+0,30 t/ha). Hmotnost tisíce zrn byla nejvyšší u variant D+B (45,0 g) a D (44,40 g), nejnižší byla naopak u kontroly (42,90 g).

II.5.3 Výsledky hodnocení řepky ozimé v roce 2021

Hnojení digestátem a zásobními živinami bylo uskutečněno v srpnu 2020. Setí řepky ozimé odrůdy TREZZOR o výsevu 0,85 VJ/ha (340 semen/m²) bylo provedeno dne 28. 8. 2020. Celoplošné přihnojení třemi dávkami průmyslových hnojiv bylo provedeno v měsících březnu až dubnu 2021. Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standardní samojízdné sklízecí mlátičky dne 23. 7. 2021 (Obr. 6).

V roce 2021 byly na pokusných plochách hodnoceny tři růstové fáze řepky. Hodnocení probíhalo dle stupnice Webera a Bleiholdera (1990) průměrnou analýzou a odběrem 3x50 rostlin z varianty následovně:

- hodnocení ve stadiu 30 (počátek prodlužovacího růstu) dne 29.4.2021;
- hodnocení ve stadiu 65 (plný květ) dne 1.6.2021;
- hodnocení ve stadiu 85 (zralost) dne 23. 7. 2021.

Tab. 7 Hodnocení BBCH 30 (I.) a BBCH 65 (II.) růstového stádia řepky ozimé na lokalitě

Varianta		Výška rostlin I. hodnocení	N	P	K	Výška rostlin II. hodnocení	N	P	K
		cm	g/kg sušiny			cm	g/kg sušiny		
1	K	49,00	36,72	4,49	32,48	107,00	32,29	6,98	35,79
2	D	55,00	42,30	5,44	32,53	131,00	28,37	7,05	31,96
3	D+B	53,00	41,15	5,23	32,41	135,00	32,08	7,34	33,68
4	BOD	54,00	36,87	5,04	29,30	140,00	29,68	6,83	32,08



Obr. 6 Průběžné hodnocení porostu řepky ozimé (jaro 2021) a její sklizeň (23. 7. 2021)

Tab. 8 Hodnocení výnosu řepky ozimé a jeho kvality na lokalitě

Varianta	Výnos	Tuk	N	P	K	Ca	Mg	S	
	t/ha	%	g/kg sušiny						
1	K	2,54	33,92	40,80	3,79	7,17	4,61	2,00	1,90
2	D	2,81	34,50	37,55	3,82	7,25	4,34	1,99	1,65
3	D+B	2,83	32,26	37,72	3,93	7,60	4,36	1,88	2,20
4	BOD	2,92	32,81	37,35	3,66	7,06	4,18	1,95	1,60

V roce 2021 byl oproti kontrole (2,54 t/ha) nejvyšší rozdíl výnosu řepky ozimé u variant K (+0,38 t/ha), D+B (0,29 t/ha), naopak nejnižší byl u varianty D (+0,27 t/ha). Olejnatost v sušině byla nejvyšší u varianty D (34,50 %, naopak nejnižší byla u variant D+B (32,26 %) a BOD (32,81 %) a u kontroly vykazovala hodnotu 33,92 %.

KAPITOLA III

Srovnání „novosti postupů“

V metodice jsou vyhodnoceny a ověřeny účinky aplikace digestátu, digestátu s biouhlem a biouhlem obohaceného digestátu na vybrané půdní parametry a výnos zemědělských plodin a jejich ekonomiku. Uvedené řešení umožní zlepšení hospodaření s digestátem (kejdou). Jejich možná kombinace s biouhlem představuje jeden z možných způsobů, jak efektivně využít zpracované vedlejší produkty rostlinné výroby. Přidání biouhlu do digestátu a jejich společné zrání ovlivňuje příznivě dynamiku biologické dostupnosti živin v matici digestát-biouhel pro růst rostlin a diverzitu půdních mikroorganismů. Aplikace takovýchto látek zvyšuje z pohledu dlouhodobého časového horizontu přísun organické hmoty do půdy a tím zachovává její úrodnostní potenciál a funkční diverzitu půdních organismů.

Novost postupů v této metodice je také dána použitím dat získaných při řešení výzkumného projektu TH030319 a TH04030132 za období 2018–2021 a jejich uplatnění v zemědělském podniku v průběhu tří hospodářských let. Předpokládané přínosy uplatnění, doporučení uvedených v metodice jsou podrobně dokládány v příslušných kapitolách této metodiky.

KAPITOLA IV

Popis uplatnění metodiky, informace pro koho je určena a jakým způsobem bude uplatněna

Metodika je určena zemědělskému managementu všeobecně, zejména však podnikům hospodařícím na orné půdě, ekologickým zemědělcům, akreditovaným poradcům v oblasti zemědělské výroby a ekonomiky, pracovníkům decizní sféry v působnosti Ministerstva zemědělství včetně Oddělení regionálních odborů a Státního zemědělského intervenčního fondu, profesním organizacím (Agrární komora ČR, Zemědělský svaz ČR, aj.), pracovníkům v zemědělském výzkumu, studentům středních a vysokých škol orientovaných na zemědělskou problematiku, pedologii a ochranu životního prostředí.

KAPITOLA V

Ekonomické aspekty

Ekonomický dopad byl vypočítán jako rozdíl vícenákladů na pořízení biouhlu, aplikaci biouhlu a digestátu v rámci dané varianty a vyššího ocenění produkce, tzn. výnosu sušiny kukuřice, pšenice a řepky ve vztahu ke kontrolní variantě.

Tab. 9 Kalkulace výnosu dle jednotlivých plodin v letech 2019–2021

Varianta		Kukuřice silážní 2019			Pšenice ozimá 2020			Řepka ozimá 2021			SUMA	Výnosy
		t/ha		Kč/ha	t/ha		Kč/ha	t/ha		Kč/ha	Kč/ha	Kč/ha/rok
		ku kontrole	ku kontrole	ku kontrole								
1	K	12,08	0	0	7,26	0	0	2,537	0	0	0	0
2	D	12,83	0,743	1 800	7,56	0,300	1 252	2,808	0,271	3 192	6 244	2 081
3	D+B	12,46	0,381	923	7,51	0,250	1 043	2,831	0,294	3 463	5 429	1 810
4	BOD	12,89	0,807	1 955	7,98	0,720	3 005	2,915	0,378	4 452	9 411	3 137

Tab. 10 Kalkulace vícenákladů dle jednotlivých plodin v letech 2019–2021

Varianta		SIL. KUK (2019)		P.O. (2020)		Ř.O. (2021)		SUMA	Vicenáklady
		B*	Aplikace	B*	Aplikace	B*	Aplikace	Kč/ha	Kč/ha/rok
		Kč/ha (vícenáklady)		Kč/ha (vícenáklady)		Kč/ha (vícenáklady)			
1	K	0	0	0	0	0	0	0	0
2	D	0	500	0	500	0	500	1 500	500
3	D+B	1 267	500	1 267	500	1 267	500	5 301	1 767
4	BOD	1 267	1 000	1 267	500	1 267	500	5 801	1 934

Legenda: *B (vícenáklady za aplikaci biouhlu); KUK (silážní kukuřice), P.O. (pšenice ozimá) a Ř.O. (řepka ozimá)

Kalkulované náklady:

Roční vícenáklady na biouhel při uvedené dávce:

- Biouhel (využitelnost 30 let): 1 267 Kč/ha.

Vícenáklady aplikaci digestátu a biouhlu při uvedené dávce:

- Digestát: 500 Kč/ha;
- Digestát + biouhel (aktivovaný): 1 000 Kč/ha;
- Digestát + biouhel: 500 Kč/ha.

Kalkulované výnosy:

Ocenění produkce (dle průměrné ceny ČSU v daném roce sklizně):

- Silážní kukuřice (2019): 2 423 Kč/tuna sušiny;
- Pšenice ozimá (2020): 4 173 Kč/tuna;
- Řepka ozimá (2021): 11 778 Kč/tuna.

Tab. 11 Souhrnná kalkulace výnosů a vícenákladů v letech 2019–2021 a celkový přínos

Varianta	SUMA výnosy		SUMA vícenáklady		Výnosy	Vícenáklady	Rozdíl
	Kč/ha	Kč/ha/rok	Kč/ha	Kč/ha/rok	Kč/ha/rok ku kontrole		
1 K	0	0	0	0	0	0	0
2 D	6 244	2 081	-1 500	-500	2 081	-500	1 581
3 D+B	5 429	1 810	-5 301	-1 767	1 810	-1 767	43
4 BOD	9 411	3 137	-5 801	-1 934	3 137	-1 934	1 203

Celkové ekonomické zhodnocení zvoleného managementu musí komplexně zahrnovat i vliv agrotechnického postupu na kvalitu a stav vegetace i půdního prostředí. Jako optimální volba pro využití produkčních i mimoprodukčních vlastností agro-ekosystému se jeví aplikace biouhlem obohaceného digestátu (1 203 Kč/ha) i koaplikace digestátu s biouhlem (43 Kč/ha). Z hlediska výnosového potenciálu působí aplikace samotného digestátu (1 581 Kč/ha) a jeho využitelnost pouze krátkodobou dostupností živin, zejména dusíku a je nutné jej kombinovat s minerálními hnojivy pro zajištění dané úrovně produkce a požadované kvality.

Z ekonomického hlediska je pak velmi vhodná aplikace biouhlem obohaceného digestátu (1 203 Kč/ha) vedoucí k dosažení kvantity výnosu a jeho požadované kvality. Na druhou stranu negativem jsou vysoké počáteční náklady na pořízení biouhlu. V kalkulaci celkového přínosu je uvažovaná využitelnost biouhlu po dobu 30 let. Ze získaných dat však nelze určit, jak výrazný pozitivní účinek na výnos plodin lze po celou tuto dobu očekávat. Z environmentálního hlediska představuje aplikace biouhlu do půdy pro zemědělské podniky jednu z možností, jak efektivně využít vedlejší produkty rostlinné výroby k přípravě materiálu s přidanou hodnotou při současném snížení objemu zemědělského odpadu.

Mimoekonomické přínosy

Mimoekonomické přínosy v aplikaci biouhlu spočívají v přísunu stabilní organické hmoty do půdy, což vede k zachování jejího úrodnostního potenciálu a ke zvýšení funkční diverzity půdních organismů. Další výhodou je snížení erozní ohroženosti půd a zvýšení odolnosti vůči suchu. Aplikace biouhlem obohaceného digestátu postupně zvyšuje retenci a dostupnost živin, zamezuje jejich vyplavování do životního prostředí a podílí se také na možném zvýšení úrodnosti půdy.

KAPITOLA VI

Seznam použité související literatury

- Arif, M.; Ilyas, M.; Riaz, M.; Ali, K.; Shah, K.; Haq, I. U.; Fahad, S. (2017). Biochar improves phosphorus use efficiency of organic-inorganic fertilizers, maize-wheat productivity and soil quality in a low fertility alkaline soil. *Field Crops Research*, 214, 25–37.
- Baier, J.; Smetánková, M.; Baierová, V. (1988). *Diagnostika výživy rostlin*. Praha: MZVŽ ČSR, 1988. 284 s.
- Biederman, L. A.; Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB bioenergy*, 5(2), 202–214.
- Börjesson, P.; Berglund, M. (2007). Environmental systems analysis of biogas systems—Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy*, 31(5), 326–344.
- Brassard, P.; Godbout, S.; Raghavan, V. (2016). Soil biochar amendment as a climate change mitigation tool: key parameters and mechanisms involved. *Journal of environmental management*, 181, 484–497.
- Campbell, C. D.; Chapman, S. J.; Cameron, C. M.; Davidson, M. S.; Potts, J. M. (2003). "A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil." *Appl Environ Microbiol* 69(6): 3593–3599. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.6.3593-3599.2003>
- Cayuela, M. L.; Van Zwieten, L.; Singh, B. P.; Jeffery, S.; Roig, A.; Sánchez-Monedero, M. A. (2014). Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: A review and meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 5–16.
- ČSN 46 1011-6 (461011) Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin – Část 6: Zkoušení obilovin – Stanovení obsahu příměsí a nečistot
- ČSN EN ISO 3093 (461026) Pšenice, žito a pšeničná a žitná mouka, pšenice tvrdá (durum) a semolina z pšenice tvrdé – Stanovení čísla poklesu podle Hagberga-Pertena
- ČSN EN ISO 5529 (461022) Pšenice – Stanovení sedimentačního indexu – Zeleného test
- ČSN EN ISO 659 (461034) Olejnatá semena – Stanovení obsahu oleje (Referenční metoda)
- ČSN EN ISO 665 (461025) Olejnatá semena – Stanovení vlhkosti a obsahu těkavých látek

- ČSN EN ISO 712 (461014) Obiloviny a výrobky z obilovin – Stanovení vlhkosti – Referenční metoda
- ČSN ISO 7971-2 (461013) Obiloviny – Stanovení objemové hmotnosti zvané "hektolitrová váha" – Část 2: Praktická metoda
- DeLuca, T. H.; Gundale, M. J.; MacKenzie, M. D.; Jones, D. L. (2015). Biochar effects on soil nutrient transformations. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*, 2, 421–454.
- Duffková, R.; Mühlbachová, G. (2016). *Metodický postup pro efektivní užití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic*. Certifikovaná metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. 64 s.
- Ferreras, L.; Gómez, E.; Toresani, S.; Firpo, I.; Rotondo, R. (2006). Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*, 97(4), 635–640.
- Fornito, S.; Puliga, F.; Leonardi, P.; Di Foggia, M.; Zambonelli, A.; Francioso, O. (2020). "Degradative ability of mushrooms cultivated on corn silage digestate." *Molecules* 25(13): 15. <https://doi.org/10.3390/molecules25133020>
- Freddo, A.; Cai, C.; Reid, B. J. (2012). Environmental contextualisation of potential toxic elements and polycyclic aromatic hydrocarbons in biochar. *Environmental pollution*, 171, 18–24.
- Greenberg, I.; Kaiser, M.; Gunina, A.; Ledesma, P.; Polifka, S.; Wiedner, K.; Mueller, C. W.; Glaser, B.; Ludwig, B. (2019). "Substitution of mineral fertilizers with bio-gas digestate plus biochar increases physically stabilized soil carbon but not crop biomass in a field trial." *Science of the Total Environment* 680: 181–189. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.051>
- Gul, S.; Whalen, J. K.; Thomas, B. W.; Sachdeva, V.; Deng, H. (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 46–59.
- Hammerschmiedt, T.; Holatko, J.; Sudoma, M.; Kintl, A.; Vopravil, J.; Ryant, P.; Skarpa, P.; Radziemska, M.; Latal, O.; Brtnicky, M. (2021). "Biochar and sulphur enriched digestate: Utilization of agriculture associated waste products for improved soil carbon and nitrogen content, microbial activity, and plant growth." *Agronomy-Basel* 11(10): 14. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102041>
- Holatko, J.; Hammerschmiedt, T.; Kintl, A.; Danish, S.; Skarpa, P.; Latal, O.; Baltazar, T.; Fahad, S.; Akca, H.; Taban, S.; Kobzova, E.; Datta, R.; Malicek, O.; Hussain, G. S.; Brtnicky, M. (2021). "Effect of carbon-enriched digestate on the microbial soil activity." *Plos One* 16(7): 13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252262>

- Holubík, O. (2020). Pokročilé technologie zpracování digestátu aneb jak uplatnit cirkulární ekonomiku v praxi. *Biom.cz* [online]. 2020-04-28 [cit. 2021-03-31]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/pokrocile-technologie-zpracovani-digestatu-aneb-jak-uplatnit-cirkularni-ekonomiku-v-praxi>>. ISSN: 1801-2655.
- ISO 20130 (2018). Soil quality — Measurement of enzyme activity patterns in soil samples using colorimetric substrates in micro-well plates.
- Laird, D. A.; Fleming, P.; Davis, D. D.; Horton, R.; Wang, B.; Karlen, D. L. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3–4), 443–449.
- Lehmann, J.; Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management: an introduction* (pp. 33–46). Routledge.
- Lehmann, J.; Gaunt, J.; Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11(2), 403–427.
- Lehmann, J.; Rillig, M. C.; Thies, J.; Masiello, C. A.; Hockaday, W. C.; Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota. *Soil Biol. Biochem.* 43, 1812–1836.
- Liang, B.; Lehmann, J.; Solomon, D.; Kinyangi, J.; Grossman, J.; O'Neill, B.; Skemstad, J. O.; Thies, J.; Luizao, F. J.; Petersen, J.; Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil science society of America journal*, 70(5), 1719–1730.
- Ma, N.; Zhang, L.; Zhang, Y.; Yang, L.; Yu, C.; Yin, G.; Ma, X. (2016). Biochar improves soil aggregate stability and water availability in a mollisol after three years of field application. *PloS one*, 11(5), e0154091.
- Makádi, M.; Szegi, T.; Tomócsik, A.; Orosz, V.; Michéli, E.; Ferenczy, A.; Posta, K.; Biró, B. (2016). Impact of Digestate Application on Chemical and Microbiological Properties of Two Different Textured Soils. *Communications in soil science and plant analysis* 47 (2): 167–178. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2015.1109652>
- Martin, S. L.; Clarke, M. L.; Othman, M.; Ramsden, S. J.; West, H. M. (2015). "Biochar-mediated reductions in greenhouse gas emissions from soil amended with anaerobic digestates." *Biomass and Bioenergy* 79: 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.030>
- Muhammad Irfan, R.; Kaleri, F. N.; Rizwan, M.; Mehmood, I. (2017). Potential value of biochar as a soil amendment: A review. *Pure and applied biology (PAB)*, 6(4), 1494–1502.

- Nařízení Komise (ES) č. 152/2009 ze dne 27. ledna 2009, kterým se stanoví metody odběru vzorků a laboratorního zkoušení pro úřední kontrolu krmiv (Text s výtčením pro EHP)
- Novotný, F. (2006). *Metodiky chemických rozborů pro hodnocení kvality odrůd I. Jednotné pracovní postupy*. UKZUZ Brno, 2. vydání.
- Ogbonnaya, U.; Semple, K. T. (2013). Impact of biochar on organic contaminants in soil: a tool for mitigating risk?. *Agronomy*, 3(2), 349–375.
- Prost, K.; Borchard, N.; Siemens, J.; Kautz, T.; Séquaris, J. M.; Möller, A.; Amelung, W. (2013). Biochar affected by composting with farmyard manure. *Journal of environmental quality*, 42(1), 164–172.
- Rehman, A.; Nawaz, S.; Alghamdi, H. A.; Alrumman, S.; Yan, W.; Nawaz, M. Z. (2020). Effects of manure-based biochar on uptake of nutrients and water holding capacity of different types of soils. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 2, 100036.
- Singh, B.; Singh, B. P.; Cowie, A. L. (2010). Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Research*, 48(7), 516–525.
- Sohi, S. P.; Krull, E.; Lopez-Capel, E.; Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in agronomy*, 105, 47–82.
- Thiele-Bruhn, S.; Bloem, J.; de Vries, F. T.; Kalbitz, K.; Wagg, C. (2012). Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5), 523–528.
- Thies, J. E.; Rillig, M. C.; Graber, E. R. (2015). Biochar effects on the abundance, activity and diversity of the soil biota. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*, 2, 327–389.
- Wang, J.; Xiong, Z.; Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *Gcb Bioenergy*, 8(3), 512–523.
- Wang, Y.; Villamil, M. B.; Davidson, P. C.; Akdeniz, N. (2019). A quantitative understanding of the role of co-composted biochar in plant growth using meta-analysis. *Science of the total environment*, 685, 741–752.
- Weber, E.; Bleiholder, H. (1990). Erläuterungen zu den BBCH-Dezimal-Codes für die Entwicklungsstadien von Mais, Raps, Faba-Bohne, Sonnenblume und Erbse – mit Abbildungen. *Gesunde Pflanzen.*, 42: 308–321.
- Zhang, H.; Li, S.; Zheng, X.; Zhang, J.; Bai, N.; Zhang, H.; Lv, W. (2021). "Effects of biogas slurry combined with chemical fertilizer on soil bacterial and fungal community composition in a paddy field." *Front Microbiol* 12: 655515. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.655515>

CHAPTER VII

Seznam publikací, které předcházely metodice a byly publikovány

- Brtnický, M.; Datta, R.; Holatko, J.; Bielska, L.; Gusiatin, Z.M.; Kucerik, J.; Hammerschmiedt, T.; Danish, S.; Radziemka, M.; Mravcova, L.; Fahad, S.; Kintl, A.; Sudoma, M.; Amed, N.; Pecina, V. (2021). A critical review of the possible adverse effects of biochar in the soil environment. *Science of the Total Environment* 796: 148756. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148756>
- Brtnický, M.; Dokulilova, T.; Holatko, J.; Pecina, V.; Kintl, A.; Latal, O.; Vyhnanek, T.; Prichystalova, J.; Datta, R. (2019). „Long-Term Effects of Biochar-Based Organic Amendments on Soil Microbial Parameters.“ *Agronomy* 9: 747. <https://doi.org/10.3390/agronomy9110747>
- Brtnický, M.; Hammerschmiedt, T.; Elbl, J.; Kintl, A.; Skulcova, L.; Radziemska, M.; Latal, O.; Baltazar, T.; Kobzova, E.; Holatko, J. (2021). „The Potential of Biochar Made from Agricultural Residues to Increase Soil Fertility and Microbial Activity: Impacts on Soils with Varying Sand Content.“ *Agronomy* 11: 1174. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061174>
- Hammerschmiedt, T.; Holatko, J.; Pecina, V.; Huska, D.; Latal, O.; Kintl, A.; Radziemka, M.; Muhammad, S.; Gusiatin, Z.M.; Kolackova, M.; Nasir, M.; Baltazar, T.; Ahmed, N.; Brtnický, M. (2021). Assessing the potential of biochar aged by humic substances to enhance plant growth and soil biological activity. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 8: 46, <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00242-7>
- Holatko, J.; Hammerschmiedt, T.; Datta, R.; Baltazar, T.; Kintl, A.; Latal, O.; Pecina, V.; Sarec, P.; Novak, P.; Balakova, L.; Danis, S.; Zafar-ul-Hye, M.; Fahad, S.; Brtnický, M. (2020). „Humic Acid Mitigates the Negative Effects of High Rates of Biochar Application on Microbial Activity.“ *Sustainability* 12: 9524; <https://doi.org/10.3390/su12229524>
- Holatko, J.; Hammerschmiedt, T.; Kintl, A.; Danish, S.; Skarpa, P.; Latal, O. et al. (2021). „Effect of carbon-enriched digestate on the microbial soil activity.“ *PLoS ONE* 16(7): e0252262. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252262>

Název: Metodika hodnocení aplikace digestátu a biouhlem obohaceného digestátu na biologické a chemické půdní vlastnosti

Autoři: Oldřich Látal, Jiří Holátko, Hana Bilošová, Tereza Hammerschmiedt, Antonín Kintl, Ondřej Malíček, Martin Brtnický

Sazba a graf. úprava: Marian Koza – L^AT_EX

Vydavatel: Agrovýzkum Rapotín s.r.o.

Texty neprošly jazykovou úpravou

© Agrovýzkum Rapotín s.r.o., 2022

ISBN 978-80-87592-37-3

metodická příručka

Metodika hodnocení aplikace digestátu a biouhlem obohaceného digestátu na biologické a chemické půdní vlastnosti

Oldřich Látal, Jiří Holátko, Hana Bilošová, Tereza Hammerschmiedt,
Antonín Kintl, Ondřej Malíček, Martin Brtnický

ISBN 978-80-87592-37-3



Vydal Agrovýzkum Rapotín s.r.o.
2022

